

500kV变压器检修中的关键问题及解决方案研究

刘 鑫

国能锦界能源有限责任公司 陕西 榆林 719319

摘 要：社会经济飞速发展，各行各业对电能的需求也在不断增加，500kV变压器作为电力系统的核心枢纽，其稳定、安全、高效运行，直接关系到电力传输能否连续、可靠地进行。但是，500kV变压器的运行环境复杂，需要承受高电压和大负荷的双重压力，经长期运行，元器件老化、外部环境侵蚀等问题会引发各种故障，给电力系统安全埋下隐患。本次研究专门围绕500kV变压器检修展开，对检修时的常见问题进行梳理，包括元器件老化破损、连接开关故障、冷却系统失效等，并且针对每一个问题给出切实可行的解决办法，为电力企业提供技术参考。

关键词：500kV变压器；设备检修；关键问题；解决方案

在现代电力系统中，500kV变压器需承担高压输电的任务，而且负责电压转换，是连接各级电网的重要设备，其运行状态好不好，直接影响着区域电力供应的安全与稳定。近年来，电力负荷不断增加，500kV变压器大多长期处于高负荷运行状态，而且户外环境中的潮湿空气、腐蚀性气体、温度变化均会造成设备老化速度加快，导致故障发生风险增加。因此，加强500kV变压器的检修工作，准确找出检修中存在的 key 问题，制定出科学又有效的解决方案，对于提高设备运行的可靠性、延长使用寿命、保证电力系统持续稳定供电，有着非常重要的现实意义和工程价值。

一、500kV变压器的基本结构

500kV变压器属于大型电力设备，结构复杂又精密，主要由核心部件和辅助系统两大部分组成。核心部件包括铁心、绕组、绝缘结构和油箱。其中，铁心是变压器磁路的核心，一般用0.23mm—0.35mm的绝缘硅钢片叠制而成，分为铁心柱和铁轭两部分，铁心柱上套着绕组，铁轭则将各个铁心柱连接，形成闭合的磁路，提高磁路的导磁系数，同时减少涡流损耗；绕组是电路部分，由带绝缘层的铜线或铝线缠绕制成，按照电压等级分为高压绕组、中压绕组和低压绕组，通过电磁感应来实现电压转换；绝缘结构分为内绝缘和外绝缘，内绝缘涉及绕组绝缘、绝缘油、分接开关绝缘等，外绝缘则包括绕组引出线的瓷套管、油箱外绝缘等，是保护设备安全运行的重要屏障；油箱是密封容器，里面注满了变压器油，既能容纳铁心、绕组等核心部件，而且可发挥散热和绝缘的作用，所以对其机械强度和密封性能要求较高。辅助系统主要有冷却系统、压力调节

系统、分接开关等，冷却系统大多采用风冷方式，负责在设备运行时散发热量、降低温度；压力调节系统里有压力释放阀等部件，用于平衡设备内部的压力；分接开关则是用来调节输出电压的，确保电压保持稳定^[1]。

二、500kV变压器检修中的关键问题

（一）元器件老化破损问题

500kV变压器是电力系统的核心设备，长期在高电压、高负荷的环境下运行，元器件老化破损是检修中经常遇到的突出问题。压力释放阀是变压器压力调节系统的核心部件，其薄膜结构直接承受着设备内部的压力变化。在变压器运行过程中，如果呼吸器被灰尘、异物或者油渍堵住了，内部的气流就无法顺畅循环，还有一种情况是内部线路发生短路故障，产生大电流，导致油温急剧升高，残余气体突然膨胀，内部压力在短时间内急剧增加，一旦超过薄膜的承受极限，压力释放阀就会破损。变压器的橡胶密封圈、套管等部件，长期处于温度交替、强电场作用和外界环境侵蚀中，老化速度会明显加快。橡胶密封圈老化后会失去弹性，密封性能下降，进而引发设备渗漏油；套管老化则会导致绝缘性能衰退，出现局部放电、泄漏电流异常增大等情况，严重破坏设备整体绝缘体系。此外，油箱的焊接处如果在制造时就存在工艺缺陷，或者长期受设备运行产生的电磁振动影响，容易出现细微裂纹，随着运行时间推移逐渐扩大，最终影响设备正常运行。

（二）连接开关故障

连接开关是500kV变压器内部电路控制的核心组件，由于变压器内部线路错综复杂，连接开关需要长期处于

频繁操作切换或持续工作的状态，再加上设备运行过程中电磁振动、温度波动等因素的持续影响，其故障发生风险较高。根据实际检修，故障原因主要集中在两个方面：一方面是线路连接的问题，二次回路接线错误、虚通或者接触不良的情况时有发生，会导致电流传导受阻，让开关无法正常实现电路控制功能；另一方面是开关自身存在缺陷，比如交流接触器磨损、电机性能衰减、金属螺纹松动等，都是比较常见的故障类型。其中，金属螺纹松动大多是因装配环节工艺不规范造成的，比如厌氧胶涂敷的位置不对、胶量不足，或者操作人员没有严格按照装配工艺的要求进行紧固，导致连接部位长期在振动的影响下慢慢松动。连接开关一旦出现故障，就会直接触发变压器的保护跳闸机制，导致设备停止运行。

（三）冷却系统失效

冷却系统的主要作用是及时散发设备运行时产生的大量热量，让设备内部的温度保持在安全范围内。但冷却系统的风机、散热器等核心部件，大多暴露在户外环境中，没有有效的密封防护，长期受到潮湿空气、工业腐蚀性气体、灰尘杂物等的侵蚀，很容易出现问题。同时，系统内部的热继电器、接触器等控制组件，长期连续运行，会因元件疲劳、线路老化等原因出现性能故障，再加上户外环境中湿度变化较大，元器件容易受潮，增加冷却系统的故障风险。如果冷却系统失效，而变压器仍然处于高负荷运行状态，则内部产生的热量无法及时散发出去，油温快速升高，一旦温度超过设备的耐受极限，不仅会触发保护跳闸，而且会造成绕组绝缘击穿、烧毁等不可逆的损坏。

（四）外观颜色与噪声异常问题

外观颜色变化与噪声异常是500kV变压器内部故障的直观外在表现，通过对异常现象的观察和分析，可快速发现设备存在的潜在问题。颜色异常主要体现在两个关键部位：一是外部引线与内部线路的连接夹位置，电流传输过程中会产生焦耳热，如果连接部位接触电阻过大或存在松动情况，会导致局部发热严重，当温度高于70℃时，套管表面会因过热出现明显的发黑现象，而且发热程度会随着运行时间的延长不断加剧；二是呼吸器内部的硅胶部件，硅胶是吸湿防潮的核心材料，正常状态下呈淡蓝色，当设备密封性能下降、硅胶筒密封不严，且油箱油位低于标准刻度时，外界空气会大量进入呼吸器，导致硅胶快速受潮，颜色逐渐变为粉红色，而受潮后的硅胶会丧失吸湿功能，引发内部部件受潮损坏，诱发设备故障。噪声异常则

表现为变压器运行时的声音，不再是正常的均匀轻微“嗡嗡”声，而是出现音量明显增大、音调不均匀，或者伴随尖锐杂音等情况。造成噪声异常的原因比较复杂，根据实际检修经验来看，主要包括设备实际负荷超过额定值、电源电压异常偏高导致铁心过饱和、铁心固定结构松动引发片间振动、电机运行频率波动等，需要结合具体的噪音表现仔细排查^[2]。

三、500kV变压器检修问题的解决策略

（一）元器件全周期防护策略

要解决元器件老化破损的问题，核心思路是做好预防、检测、修复的全流程管控，减缓元器件的老化速度，降低破损的风险，从源头避免连锁故障的发生。首先建立常态化的预防维护机制，定期对压力调节系统、密封结构等关键部位进行巡检。重点要清理呼吸器内部的灰尘、异物和油渍，防止因为堵塞导致设备内部压力失衡，进而造成压力释放阀薄膜破损；定期检查压力释放阀固定螺栓的紧固情况，根据设备的运行工况，动态调整紧固力矩，防止压力泄漏。同时，要优化设备的运行环境，采取防潮、防腐的措施，减少温度变化、电场作用对橡胶密封圈、套管等部件的损耗。其次，构建精准化的检测与更换体系，制定易损部件的专项检测计划。定期对套管进行绝缘性能测试和外观检查，密切监测泄漏电流的变化，一旦发现套管有老化、开裂等迹象，要立即更换；对于橡胶密封圈，采用定期检测和状态评估相结合的方式，优先选择耐油性、耐高温的丙烯酸酯橡胶材质，延长密封部件的使用寿命。针对油箱渗漏油的问题，建立分级修复机制。

（二）连接开关精准管控策略

解决连接开关故障，关键在于将标准化操作和智能化检测相结合。规范检修作业流程，检修前必须严格执行断电退出程序，确保作业安全。然后采用专业的检测设备，对电路系统进行全面排查，通过回路导通测试、组件性能检测等手段，准确区分二次回路虚通、接线错误等线路问题^[3]。针对不同类型的故障，制定专项修复方案：如果是二次回路故障，要精准找到故障点，修正后还要进行绝缘检测和功能性试验；如果是开关自身故障，需要根据损坏程度来处理，螺纹松动的部位要重新紧固，并且规范涂敷厌氧胶，损坏的零部件要及时更换，如果故障比较严重，可更换新的连接开关。同时，强化装配环节的质量管控，明确厌氧胶涂敷的位置、胶量标准，加强对连接部位的质量检验。建立开关运行状态监测档案，详细记录操作频次、

运行参数等信息，预判故障风险，实现预防性维护。

（三）冷却系统高效保障策略

加强全方位巡检、针对性维护和季节性防控相结合的方式，确保冷却系统能够持续稳定地发挥散热功能，防止设备出现过热故障。开展全维度的元器件巡检，定期对风机、热继电器、接触器等核心部件进行绝缘检测和运行状态评估。重点排查风机定子线圈故障、叶轮损坏等问题，如果发现元器件受潮或者性能异常，及时采用绝缘处理的方法解决。对于运行频率高、老化速度快的接触器、热保护等部件，适当缩短检测周期，提前预判故障并更换。实施精细化的清洁与维护，定期拆除风机进行全面清理，去除内部的灰尘、异物和缠绕物，保证散热风道通畅；对冷却系统的管路进行疏通，检查散热介质的状态，确保散热效率。针对季节性特点，在春季故障高发期前，对冷却系统进行全面检修调试，重点检查防潮、防腐蚀措施落实情况；在高温季节来临前，提前测试冷却系统满负荷运行性能，优化风机启停控制逻辑，确保设备在高负荷、高温工况下稳定散热。

（四）外观噪声状态治理策略

处理外观颜色与噪声异常问题，核心思路是以外观监测为预警，以根源排查为核心，以靶向处理为手段，通过异常现象快速找到内部故障，实现精准治理。针对外观颜色异常，要建立常态化的监测机制，定期检查套管颜色和呼吸器硅胶的状态。严格执行硅胶半年更换的制度，如果发现硅胶颜色变化过快，从淡蓝色快速变成粉红色，同步更换玻璃

罩，并且检查硅胶筒的密封性能，确保密封严实；定期核查油箱油位，如果油位低于油表刻度的1/4，而且没有渗漏的情况，及时根据环境温度，补充变压器油到规定范围，也就是油表刻度的1/4~3/4之间，避免空气进入引发设备故障。如果发现套管发黑，立即启动带电检测程序，通过电阻测试、局部放电检测等手段，排查连接部位发热的原因并处理^[4]。针对噪声异常，采用仪器检测和判断相结合的方式排查故障。用专业仪表测量设备的负载、电源电压等参数，如果声音增大且显得沉重，大多是设备过负荷导致的，要及时调整负载到正常范围；如果声音中夹杂着尖锐声，可能是电源电压过高导致铁心过饱和，需要调节电压参数；如果声音不均匀且有杂音，大多是铁心没有夹紧或者部件松动，对铁心进行紧固处理，消除片间振动。如果变压器在空载时出现异常声音，全面检查配电装置及内部线路，排查短路、接触不良等故障并修复。

结语：

综上所述，500kV变压器是电力系统的核心设备，其检修质量直接关系到电力供应的稳定性与安全性。本文通过对500kV变压器基本结构的梳理，明确检修中的四大关键问题，包括元器件老化破损、连接开关故障、冷却系统失效、外观颜色与噪声异常，并针对性地提出对应的解决方案。通过加强日常维护巡检、精准定位故障原因、及时更换老化部件、规范检修操作流程等措施，能够有效提升500kV变压器的检修质量，降低故障发生率，为电力系统的可靠供电提供坚实的保障。

参考文献：

- [1]宋德晔.电力自动化变压器检修系统处理技术研究[J].中国设备工程,2024,(16):191-193.
- [2]李乐,吴彦利.变压器检修维护中常见故障分析及处理[J].电子元器件与信息技术,2020,4(11):101-102.
- [3]罗翊君.220kV变电站变压器检修策略研究[J].通讯世界,2017,(22):301-302.
- [4]侯鹏,张峰.变压器检修维护中常见故障分析及处理技术[J].中国设备工程,2023,(24):149-151.